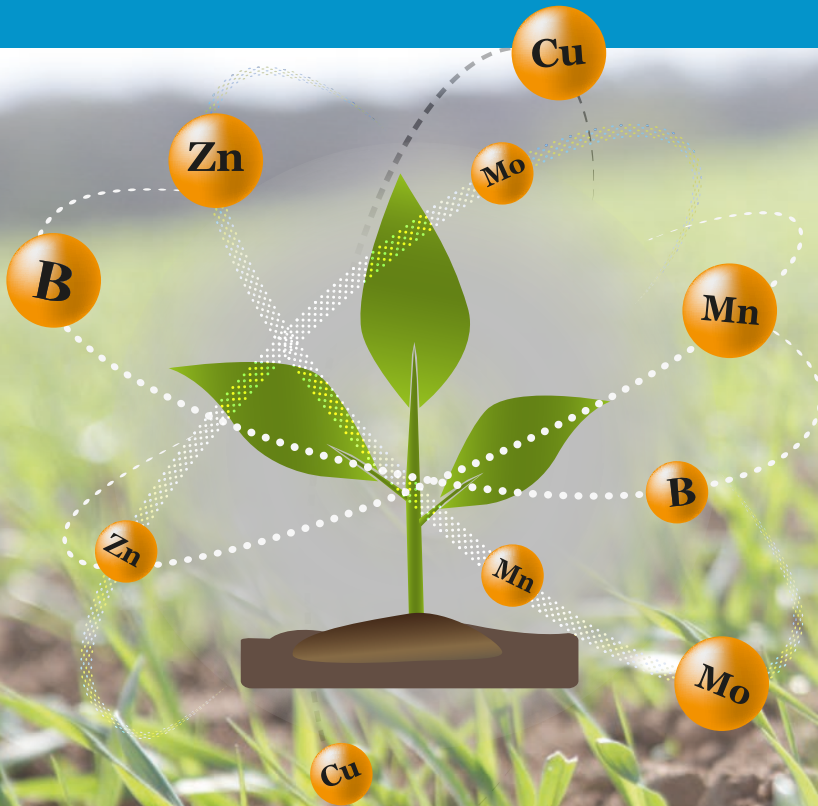


Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens



Herausgeber:

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
07743 Jena
Telefon: 0361 574041-0
Telefax: 0361 574041-390
Mail: postmaster@tll.thueringen.de

Bearbeiter:

Dr. Wilfried Zorn

Bildnachweis:

Dr. Wilfried Zorn
Dr. Gerhard Marks

Gesamtbearbeitung und Titelbild:
Corinna Graf

2. Auflage Mai 2017

Copyright: Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Für eine Reihe von Nährelementen weisen die Kulturpflanzen nur einen geringen Bedarf auf. Dazu zählen die so genannten Mikronährstoffe (auch als Spurenelemente bezeichnet). Mikronährstoffmangelernährung infolge unzureichender Versorgung des Bodens bzw. gehemmter Aufnahme durch die Pflanzen kann zu erheblichen Wachstumsdepressionen führen.

Als essenzielle Mikronährstoffe haben Bor (B), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo) und Zink (Zn) in der Pflanzenernährung eine besondere Bedeutung. Sie sind bereits in kleinsten Mengen hocheffizient wirksam und können im ertragreichen Pflanzenbau zum Minimumfaktor, d. h. ertragsbegrenzend, werden. Eisen (Fe) ist dagegen im Ackerbau von untergeordneter Bedeutung.

Die Düngung mit diesen Mikronährelementen war deshalb in der Vergangenheit nur auf absoluten Mangelstandorten (z. B. Kupfer und Mangan auf Niedermoor) und beim Anbau besonders anspruchsvoller Kulturen zu beachten.

Gegenwärtig nimmt die Bedeutung der Mikronährstoffdüngung insbesondere aus folgenden Gründen zu:

- steigende Pflanzenerträge führen zu erhöhten Mikronährstoffentzügen;
- einseitige Makronährstoff- und auch Kalkdüngergaben können Ionenkonkurrenzen zu Mikronährstoffen bewirken und damit deren Pflanzenverfügbarkeit beeinflussen;
- die Zunahme von Trockenperioden infolge des prognostizierten Klimawandels hemmt die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Boden (insbesondere Bor, Mangan und Molybdän);
- zunehmender Einsatz von hochprozentigen Makronährstoffdüngern, die arm bzw. frei von Mikronährstoffen sind;
- Rückgang der Viehbestände bzw. auch deren Konzentration führen zu geringerer bzw. nur punktförmiger Ausbringung organischer Dünger und zur Abnahme des Rückflusses von Mikronährstoffen aus den Wirtschaftsdüngern;
- zunehmende Erforschung der Bedeutung ausreichender Mikronährstoffgehalte der Pflanzen für die Ernährung von Tier und Mensch.

2

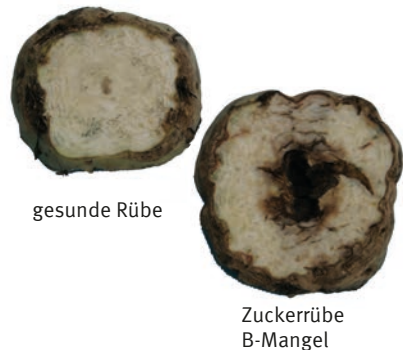
Funktion der Mikronährstoffe im Stoffwechsel der Pflanze und Mangelsymptome

2.1 Bor (B)

Bor ist ein Bauelement der Pflanze und besitzt wichtige Funktionen bei der **Zellteilung, Zelldifferenzierung, Zellstreckung, Stabilisierung der Zellwände und Gewebebildung** der Pflanzen. Außerdem hat es Bedeutung im Nukleinsäurestoffwechsel, in der Eiweißsynthese und im Energiestoffwechsel. Es ist bei der Zucker- und Stärkebildung beteiligt und verbessert somit die Frostresistenz. Die Regulation des Wasserhaushaltes und des Stofftransportes, die Blütenbildung sowie der Befruchtungsvorgang sind ebenso an das Vorhandensein von Bor gebunden, wie die Resistenz gegenüber verschiedenen Krankheiten. So wurde im Fall von B-Unterversorgung bei Gerste verstärkt Getreidemehltau, bei Weizen Rostbefall, Phomainfektion bei Rüben und Mehltau bei Sonnenblumen festgestellt. Unzureichende Borversorgung tritt jedoch meistens als latenter also „verborgener“ Mangel auf und kann nur durch Pflanzenanalyse oder Düngungsversuche erkannt werden. In der Regel geht der latente dem akuten sichtbaren Mangel voraus und hat mehr oder weniger hohe Ertrags- sowie Qualitätseinbußen (z. B. Zuckergehalt der Rübe) zur Folge.

Bormangel macht sich stets an den **jüngsten Blättern** und Vegetationspunkten von Spross und Wurzel bemerkbar, weil eine Umverteilung dieses Nährstoffes in der Pflanze nicht stattfindet. Besonders in Trockenperioden auf Sandböden aber auch auf tonreicheren Böden, dort insbesondere bei hohem pH-Wert oder nach Kalkung, kann B-Mangel verstärkt werden. **Anfällig** sind vor allem Kulturen mit hohem B-Bedarf, wie **Rüben, Kartoffeln, Raps, Leguminosen** aber auch **Mais**.

Akuter B-Mangel äußert sich durch **Wachstumshemmung der Sprossspitze** mit anschließender schwarzbrauner Verfärbung. Die Blattspreiten sind verdickt mit unsymmetrischen Verformungen. Verstärkt kommt es zur Bil-



ung von Achselknospen. Weiterhin werden **Rosettenbildung, Stängelverdickung und Aufplatzen des Stängels** beobachtet. Die Wurzeln sind kurz, mit nekrotischen Verdickungen an den Wurzelspitzen. Am bekanntesten ist die als **B-Mangelkrankheit** erkannte „**Herz- und Trockenfäule**“ **der Beta-Rüben**, die sich in einer gestörten Entwicklung des Vegetationskegels äußert. Die Herzblätter werden braun oder schwarz, die älteren Blätter vergilben und schließlich beginnt der Rübenkörper zu faulen. Raps reagiert auf B-Mangel mit gestauchtem Wuchs. Bei fortschreitendem Mangel sind neu gebildete Blätter verformt und haben rissige Blattstiele. Die Blattspreitenbildung ist erheblich reduziert. An älteren Blättern sind rötliche bis rot-violette Verfärbungen zu beobachten. Die Blütenbildung ist reduziert bzw. bleibt aus.

B

2.2 Kupfer (Cu)

Die wesentliche Aufgabe des Kupfers im pflanzlichen Stoffwechsel ist durch seine enzymatische Wirksamkeit bei verschiedenen Oxydationsvorgängen gegeben (ähnliche Funktionen wie Eisen). Etwa **70 % des Gesamt-Cu** in der Pflanze **befinden sich in stoffwechselaktiven jungen Blättern**. Da Kupfer in der Pflanze kaum verlagert wird, äußert sich eine **Unterversorgung stets zuerst in jungen Blättern**. Cu-Mangel senkt den Gehalt an Stärke sowie anderer Kohlenhydrate und ist somit u. a. auch Hauptursache für niedrige Trockensubstanzbildung. Unzureichende Cu-Versorgung erhöht z. B. die N-Verunreinigung im Zuckerrübensaft. Auch der Eiweißgehalt von Backweizen und somit dessen Backqualität werden negativ beeinflusst. Als Bestandteil von Enzymen im Ligninstoffwechsel besitzt Kupfer entscheidende Bedeutung für die Stabilisierung (Verholzung) der Zellwände. Großlumige und dünnwandige Zellen sind die Folge von Cu-Mangel, wodurch z. B. die Standfestigkeit bei Getreide beeinträchtigt wird.

Zn



Wintergerste
Cu-Mangel



Sommergerste
Cu-Mangel

Mo

Mn

Kupfer fördert des Weiteren die Bildung des Wachstumsstoffes Phytoalexin, der das pathogene Pilzwachstum hemmt und somit Einfluss auf die Krankheitsresistenz hat. Kupfer ist insbesondere entscheidend für die Pollenfertilität von Weizen und fördert die Ausbildung von Früchten und Samen.

Cu-Mangel führt bei Getreide schon frühzeitig an jüngsten Blättern zu **Welkeerscheinungen, chloroseähnlichen Farbveränderungen und Weißverfärbung**. Die jüngsten Blätter rollen sich von der Spitze her um die Längsachse ein, vertrocknen („**Weißspitzigkeit**“) und knicken ab („**Wegweiserstellung**“). Die Streckung der Internodien ist deutlich vermindert. Es kommt zu einer übermäßigen Nachschosserbildung. Die Entwicklung der generativen Organe ist in Mitleidenschaft gezogen, das Ährenschieben gehemmt. Ähren und Rispen sind ungenügend ausgebildet bzw. völlig taub („**Weißährigkeit**“). Ähnliches trifft auch für dikotyle Pflanzen zu. Jüngere Blätter rollen sich tütenförmig ein und welken unter hell-gelber Verfärbung der Blattflächen (Interkostalfelder) mit nachfolgender Bildung von gelbweißen bis braungelben Nekrosen. Die Blütenstände sind deformiert oder die Blütenbildung ist mangelhaft, junge Triebe verkahlen („**Spitzendürre**“ bei Obstbäumen) und sterben ab.

2.3 Mangan (Mn)

Die physiologische Bedeutung des Mangans im Stoffwechsel der Pflanze liegt vor allem in der Steuerung von Oxydations- und Reduktionsvorgängen sowie des Kohlehydrat- und Eiweißstoffwechsels. Es ist an zahlreichen Enzymreaktionen beteiligt, wobei die Funktionen des Mangans teilweise durch Magnesium übernommen werden können. Chloroplastenbildung, Chlorophyllsynthese und der fundamentale Prozess der Photosynthese, also auch der Kohlehydratstoffwechsel, sind an das Vorhandensein von Mangan gebunden (Funktion bei der Wasserspaltung innerhalb der Photosynthese). So **führt Mn-Mangel zum Rückgang des Zucker- und Zellulosegehaltes** in der Pflanze, z. B. bei Zuckerrübe, Erdbeere, zur Verminderung des Kohlehydratgehaltes im Mais Korn, des Stärkegehaltes bei Kartoffeln, der Fettprozentage bei Raps, zur Reduzierung des Gehaltes an Vitamin C und ungesättigter Fettsäuren. Gegenüber Mangelpflanzen besitzen ausreichend mit Mangan versorgte Pflanzen infolge ungestörter Nitrat- bzw. Nitritreduktion einen höheren Eiweißgehalt. Bei ausreichender Mn-Versorgung ist der Wasserverbrauch der Pflanzen durch funktionierende Steuermechanismen niedriger.

Weiterhin besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Entgiftung der im Zellstoffwechsel entstehenden toxischen Stoffwechselzwischenprodukte wie Wasserstoffperoxid u. a. und dem Mn-Angebot. Die fehlen-

Cu

B

de Inaktivierung solcher Zwischenprodukte führt besonders bei hoher Lichtintensität zu den bekannten „Dörrflecken“. Bei Weizen, Hafer und Mais wurde durch ausreichende Mn-Versorgung im Vergleich mit Mangelpflanzen eine erhöhte Kälteresistenz festgestellt. Mangan verbessert die Resistenz gegenüber bakteriellen Infektionen vor allem der Wurzeln sowie bei Getreide der Halmbasis gegenüber der Halmbruchkrankheit und Schwarzbeinigkeit.

Häufig wurde nach Mn-Düngung ein verringerter Schorfbefall bei Kartoffeln beobachtet. Die Pflanzenverfügbarkeit des Mangans wird durch zahlreiche Bodenfaktoren bestimmt, vor allem durch das Redoxpotenzial, den Gehalt des Bodens an organischer Substanz und ganz entscheidend durch den pH-Wert. Bei keinem anderen Nährstoff ist die Pflanzenverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Bodenreaktion so deutlich ausgeprägt. So ist die Mn-Verfügbarkeit bei pH-Werten zwischen 6,5 und 7,5 infolge der in diesem Bereich hohen Bakterientätigkeit und der damit verbundenen Aufoxidation (Wertigkeitswechsel) von Mn^{2+} zu schwer verfügbaren Mn^{4+} -Oxiden am geringsten. Die Absenkung des pH-Wertes um eine Einheit erhöht z. B. die Mn-Konzentration in der Bodenlösung um das Hundertfache! Daher ist bei niedrigem pH-Wert im Boden ($< 6,0$) auch nur in Verbindung mit einem niedrigen Gesamt-Mn-Gehalt des Bodens mit Mn-Mangel zu rechnen. Insbesondere auch Trockenheit führt zur Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit durch Aufoxidation. Bei Wiederbefeuchtung wird Mn^{4+} in die pflanzenverfügbare Form Mn^{2+} rücküberführt (Reduktion). Auch bei geringer Durchlüftung des Bodens, z. B. infolge Verdichtung und Staunässe erfolgt in starkem Maße eine Reduktion von höherwertigen Mn-Oxiden zu löslichen Mn^{2+} -Oxiden.



Hafer
Mn-Mangel



Zuckerrübe
Mn-Mangel

Mn-Mangel äußert sich zunächst in **tüpfelförmigen, blattaderfernen Chlorosen der Blattspreiten** und verursacht im Gegensatz zu Stickstoffmangel **flächenhafte Blattaufhellungen**. Die **Blattadern bleiben**, vergleichbar dem Mg-Mangel, bei Mn-Mangel noch **grün**, wodurch ein nadelbaumartiges Adernmuster entsteht. Chlorosen und folgende Nekrosen treten überwiegend an jüngeren bis mittleren Blättern auf. Bei Gramineen knickt das Blatt im unteren Teil um und hängt schlaff mit anfangs noch grüner Spitze herab. Am bekanntesten sind die bei akutem Mn-Mangel eintretenden Nekrosen, z. B. bei Hafer, die als „Dörrfleckenkrankheit“ bezeichnet werden. Vor allem auch auf Moorböden kann es infolge der Mn-Festlegung durch die organische Substanz zur Nekrosenbildung kommen.

2.4 Molybdän (Mo)

Die grundsätzliche Bedeutung von Molybdän für den Stoffwechsel der Pflanze besteht im Enzymstoffwechsel. Molybdän ist Bestandteil einer Reihe von Enzymen, u. a. der Nitrogenase (N-Bindung der Knöllchenbakterien) und wohl am Bekanntesten, der Nitratreduktase. Letztere besitzt essenzielle Bedeutung für die Pflanze bei der N-Ernährung und somit, im Eiweißstoffwechsel und katalysiert die Reduktion von Nitrat zu Nitrit und weiter zu Ammoniak. Im Falle von Nitraternährung der Pflanzen liegt daher ein höherer Mo-Bedarf als bei der Ammoniumernährung vor. Bei Mo-Mangel kommt es als Folge gestörter Eiweißsynthese (Nitratanreicherung) zur Anhäufung von Zucker und Stärke, da aufgenommenes Nitrat nicht zu NH_3 reduziert werden kann, das für die Bildung von Aminosäuren Voraussetzung ist. Schließlich ist bei gestörtem Eiweißstoffwechsel auch die Chlorophyllsynthese beeinträchtigt. Durch Assimilatstau verursacht kommt es also auch bei Mo-Mangel zur Bildung von Anthocyaninen mit anormaler Rotverfärbung der Pflanzen.



Blumenkohl
Mo-Mangel



Raps
Mo-Mangel

Nitratanreicherung in Futter- und Nutzpflanzen kann bei Mensch und Tier zu gesundheitlichen Schäden führen. Molybdän greift als Bestandteil von Enzymen auch unmittelbar in lebenswichtige energetische Stoffwechselprozesse ein. Besonders negative Auswirkungen hat Mo-Mangel für spezielle Stoffwechselprozesse, z. B. den Phosphatstoffwechsel. Hinsichtlich der Pflanzenqualität wurde bei ausreichend mit Molybdän ernährten Pflanzen ein höherer Ascorbinsäuregehalt (Vitamin-C-Gehalt) als bei Mo-Mangelpflanzen gefunden. Die verschiedenen Kulturen besitzen einen unterschiedlichen Mo-Bedarf und reagieren damit auch verschieden stark auf nicht ausreichende Mo-Versorgung.

Allgemein treten Schadsymptome infolge **Mo-Mangel** im Pflanzenbau äußerst selten und in Abhängigkeit von den begleitenden Wachstumsbedingungen in sehr unterschiedlicher Ausprägung auf, was die visuelle Diagnose erschwert. Da die wichtigste Funktion des Molybdäns für die Pflanze in der Nitratreduktion besteht, zeigt sich der Mo-Mangel, ähnlich dem N-Mangel, durch **verminderten Wuchs und Chlorosenbildung zuerst an den älteren Blättern**. Die Blattränder sterben (nekrotisieren) infolge Nitratanreicherung schnell ab, wie es mitunter bei Raps deutlich zu beobachten ist. Mo-Mangel der Leguminosen äußert sich durch **Aufhellung der älteren Blätter**, verursacht durch direkten N-Mangel, da die N_2 -Fixierung (symbiotische N-Bindung) durch die Rhizobien gehemmt wird. In Luzerne- und Rotkleebeständen tritt Mo-Mangel meist nur an einzelnen Stellen auf, wodurch das Feld ein scheckiges Aussehen erhält. Bekannt sind bei akutem Mo-Mangel dikotyler Pflanzen reduzierte Blattspreiten mit oder ohne Blattrandaufwölbungen bis zur allein weiterwachsenden Blattmittellippe (Whiptail bzw. Peitschenstielsymptome), wie sie beispielsweise an Blumenkohl beobachtet werden können. Diese Symptome entstehen zunächst an den jüngsten Blättern, was auf die geringe Beweglichkeit des Molybdäns in der Pflanze zurückzuführen ist.

2.5 Zink (Zn)

Analog zu anderen Mikronährstoffen liegt die physiologische Bedeutung des Zinks in seiner Funktion als Bestandteil zahlreicher Enzyme bzw. seinem Einfluss auf Enzymreaktionen. So ist Zink Baustein eines Enzyms im Atmungsstoffwechsel der Pflanzen und trägt zur Vermeidung unerwünschter Anreicherungen von Stoffwechselzwischenprodukten z. B. von Sauerstoffradikalen bei. Besonders hervorzuheben ist die Funktion des Zinks in einem Enzym innerhalb der Photosynthese, der Kohlendioxidanhydrase, die speziell die CO_2 -Assimilation ermöglicht. Zink ist auch Bestandteil von Enzymen für die Eiweißsynthese. Infolge seiner Funktionen im Eiweißstoffwechsel der Pflanzen werden bei Zn-Mangel ähnliche



Mais
Zn-Mangel



Hopfen
Zn-Mangel

Symptome wie beim Stickstoffmangel festgestellt. Zn-Mangel senkt den Eiweißgehalt und führt zur Anreicherung von Nitrat in der Pflanze. Entscheidend beteiligt ist Zink bei der Produktion von Wuchsstoffen in der Pflanze (β -Indolyllessigsäure, Auxin). Durch Zn-Mangel verursacht treten Störungen des Teilungs- und Differenzierungswachstums ein. Es folgen Hemmung bzw. Stillstand der Zellteilung in Wurzel- und Sprossspitzen. Das Streckungs- und Dickenwachstum ist verringert, es kommt zu den für Zn-Mangel auffälligsten morphologischen Veränderungen von Zwergwachstum und Rosettenbildung. Niedrige Zn-Gehalte in der Pflanze begünstigen Pilz- und Viruskrankheiten. Die Zn-Aufnahme der Pflanzen ist, außer vom Gehalt im Boden, in erster Linie vom pH-Wert und Phosphatgehalt im Boden abhängig. Hohe P-Gehalte gefährden die ausreichende Zn-Versorgung bei niedrigen Zn-Gehalten im Boden. Zn-Mangel infolge sehr hoher P-Gehalte bzw. hoher P-Düngung resultiert dabei nicht aus der Zn-Fixierung im Boden, sondern aus der Festlegung in der Wurzel. Bei hohem P-Gehalt im Boden ist somit ein ausreichendes Zn-Angebot und parallel hierzu die Absenkung des P-Gehaltes (bis zur Gehaltsklasse C) erforderlich. Zn-Mangel gefährdet sind in erster Linie sehr leichte Böden mit hohem pH-Wert sowie Kalkböden (steigende pH-Werte des Bodens verstärken die sorptive Bindung an Ton und Humus). Mangel kann aber auch auf Böden mit hohem Anteil unzersetzter organischer Substanz, nach Aufkalkung und nach hohem Zn-Entzug, z. B. durch hohe Maiserträge, beobachtet werden. Bedingt durch die geringe Beweglichkeit des Zinks im Boden, insbesondere bei hohen pH-Werten, ist die Gefahr von Zn-Mangel, besonders bei noch schwach ausgebildetem Wurzelsystem, d. h. in der Jugendentwicklung gegeben. Die Zn-Aufnahme kann auch durch hohe Eisen- und Kupfergehalte im Boden behindert werden.

Bei **Zn-Mangel** sinkt der Chlorophyllgehalt der Pflanzen ab, wodurch **Chlorosen bis zur Weißverfärbung der Blätter** eintreten können (besonders typisch bei Mais). Die Beweglichkeit von Zink in der Pflanze ist gering, deshalb erscheinen die **Chlorosen zuerst in den jungen, wachsenden Pflanzenteilen**. Allgemein ist das Erkennen von Zn-Mangel erschwert, da die Symptome sehr differenziert sind. Mangelsymptome prägen sich abhängig vom physiologischen Entwicklungsstadium der Pflanzen aus. Bei Zn-Mangel lassen sich typische als auch untypische Symptome feststellen. So können flecken- und tüpfelartig auftretende Interkostalchlorosen leicht mit Mn- oder Fe-Mangel verwechselt werden und besitzen daher keinen typischen Charakter für Zn-Mangel. Weiterhin treten an älteren Blättern Chlorosen und auch abgestorbene Blattzonen auf. Allgemein bekannt geworden ist die „**Kräuselkrankheit**“ des Hopfens, die auf Zn-Mangel beruht. Besonders charakteristische Symptome für Zn-Mangel sind nach BERGMANN (1993) in jedem Fall die durch Auxinmangel bedingten Symptome, vor allem die „**Kleinblättrigkeit**“ in Verbindung mit mehr oder weniger ausgeprägten Blattdeformationen und der gestauchte Wuchs mit „**Rosettenbildung**“ aufgrund verkürzter Internodien. Weiterführende Informationen zum Erkennen von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen gibt das Diagnosesystem VISUPLANT® unter www.tll.de/visuplant.

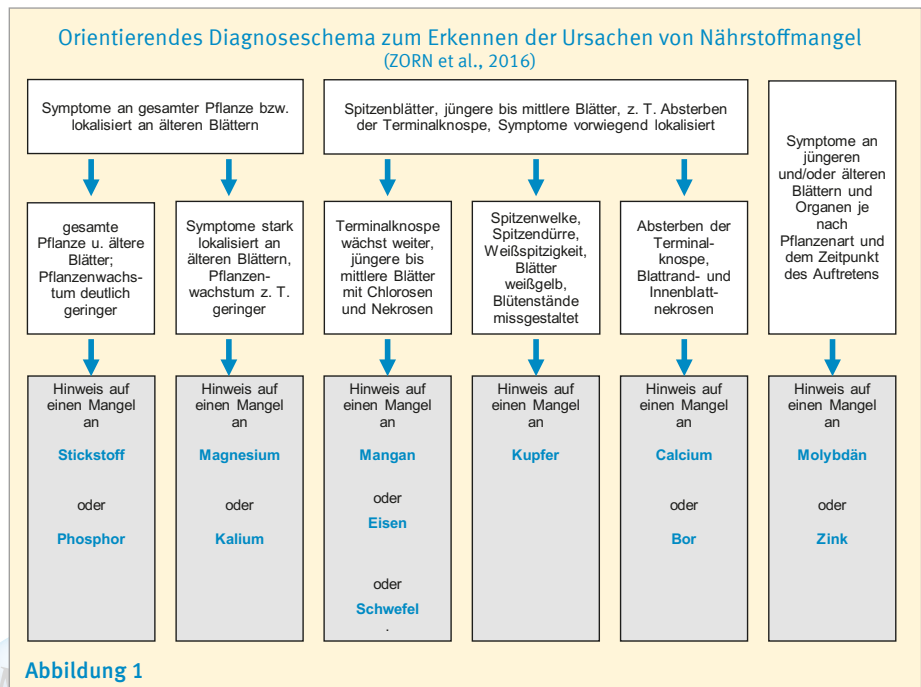


Abbildung 1

3 Mikronährstoffbedarf von Ackerkulturen

Der aktuelle Mikronährstoffdüngbedarf wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Besondere Bedeutung kommt der Mikronährstoffbedürftigkeit der Pflanzenart zu. Die Kulturpflanzen, z. T. aber auch deren Sorten, besitzen unterschiedliche Ansprüche an die Mikronährstoffversorgung. Hierfür sind sowohl der allgemeine Nährelementbedarf als auch die Effizienz der verschiedenen Kulturen hinsichtlich Aufnahmevermögen aus dem Boden und Verwertung im Stoffwechsel entscheidend. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Mikronährstoffbedürftigkeit von Ackerkulturen.

Tabelle 1: Mikronährstoffbedürftigkeit der Kulturen

Getreide und Mais	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Winter- und Sommerweizen	0	2	2	0	0
Winter- und Sommerroggen	0	1	1	0	0
Winter- und Sommergerste, Getreidegemenge	0	2	2	0	0
Hafer	0	2	2	1	0
Körnermais, Silomais, Grünmais	1	1	1	0	2
Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke	0	0	2	1	0
Ackerbohne	1	1	0	1	1
Lupine	2	0	0	1	0
Öl- und Faserpflanzen					
Raps, Rübsen	2	0	1	1	0
Senf	1	0	0	1	0
Mohn	2	0	0	0	0
Lein	1	2	0	0	2
Sonnenblume	2	2	1	0	0
Hanf	1	0	0	1	0
Hackfrüchte					
Kartoffel	1	0	1	0	1
Rübe (auch Stecklinge und Vermehrung)	2	1	2	1	1
Stoppel-, Kohlrübe	2	0	1	1	0
Futtermöhre	1	2	1	0	0
Futterpflanzen					
Rotklee, Rotklee gras	1	1	1	2	1
Luzerne gras, Futtergräser, Wiese, Weide	0	1	1	0	0
Luzerne	2	2	1	2	1
Futter-, Markstammkohl	2	0	1	2	0

0 = Kultur mit niedrigem Bedarf

1 = Kultur mit mittlerem Bedarf

2 = Kultur mit hohem Bedarf

Zusammenfassend kann folgende grobe Abschätzung für einzelne Kulturen mit hohem Bedarf an einzelnen Mikroelementen vorgenommen werden:

Bor	Winterraps, Zucker- und Futterrübe, Luzerne, Kohlrarten, Sonnenblume
Kupfer	Weizen, Gerste, Hafer, Lein, Sonnenblume, Luzerne
Mangan	Weizen, Hafer, Zucker- und Futterrübe, Erbse, Bohne
Molybdän	Luzerne, Rotklee, Kohlrarten
Zink	Mais, Lein, Hopfen

Getreide besitzt einen niedrigen Borbedarf und erfordert nach gegenwärtigen Erkenntnissen (ca. 29 Feldversuche in den Jahren 2000 bis 2013) keine Bordüngung. Weitere Faktoren, die den Mikronährstoffdüngbedarf beeinflussen, sind insbesondere die aktuelle Wasserversorgung, Mikronährstoff- und Humusversorgung und pH-Wert des Bodens sowie Witterungs- und Standortbedingungen. Besondere Bedeutung hinsichtlich der Mikronährstoffverfügbarkeit besitzt der pH-Wert des Bodens. Mit steigenden pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit von Bor, Kupfer, Mangan und Zink ab, jedoch die von Molybdän zu.

Ertragswirkung der B-Düngung zu Getreide in Abhängigkeit vom B-Gehalt im Spross
ES 31-32 (29 Feldversuche in Thüringen)

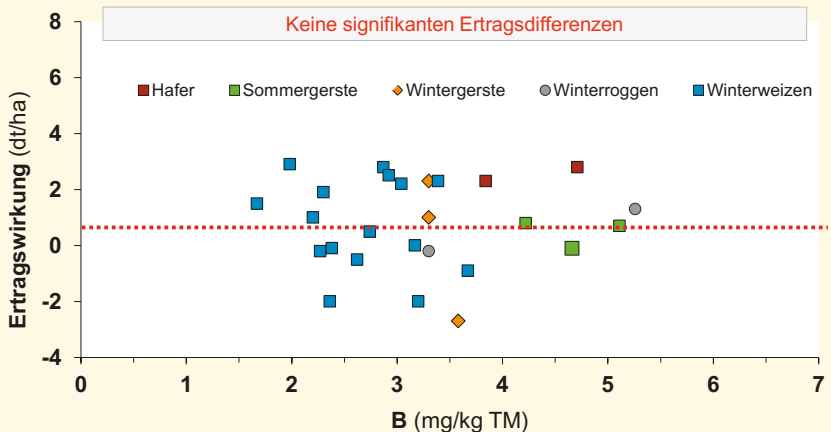


Abbildung 2

4 Ermittlung des Mikronährstoffbedarfes im Ackerbau

4.1 Mikronährstoffbodenuntersuchung

Zur Ermittlung des Mikronährstoffbedarfes der Pflanzen sind Bodenuntersuchung und Pflanzenanalyse zwei sich ergänzende Methoden. Die Bodenuntersuchung liefert Aussagen über die potenzielle Mikronährstoffversorgung des Bodens und stellt eine wesentliche Grundlage für die Düngbedarfsermittlung dar. Die Mikronährstoffbestimmung kann parallel aus der selben Bodenprobe (Probenahmetiefe 0 bis 20 cm) wie die Untersuchung auf pH-Wert sowie P-, K- und Mg-Gehalt erfolgen. Im Gegensatz zur Bewertung der Makronährstoffgehalte der Böden erfolgt die Einstufung der Ergebnisse der Mikronährstoffbodenuntersuchung in nur drei Gehaltsklassen (Tab. 2).

In Thüringen erfolgt die Bodenuntersuchung auf die verfügbaren Gehalte an Bor, Kupfer, Mangan und Zink mit Hilfe der CAT-Methode sowie die Molybdänbestimmung nach der Methode nach GRIGG. Einen Überblick über die Richtwerte zur Einstufung der Mikronährstoffgehalte in Böden zeigt Übersicht 1.

Tabelle 2: Definition der Gehaltsklassen pflanzenverfügbarer Mikronährstoffgehalte (Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink) im Boden

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlung
A sehr niedriger/niedriger Gehalt im Boden	Beim Anbau mikronährstoffintensiver Kulturen wird durch Mikronährstoffdüngung ein deutlicher, z. T. signifikanter Mehrertrag erzielt. Weniger anspruchsvolle Kulturen erfordern keine Düngung.
C mittlerer/optimaler Gehalt im Boden	Eine Mikronährstoffdüngung wird nur dann zu mikronährstoffintensiven Kulturen empfohlen, wenn nicht bereits durch andere Faktoren die Mikronährstoff-Versorgung gewährleistet wird (z. B. organische Düngung, Veränderung des pH-Wertes im Boden durch Kalk oder physiologisch saure Düngemittel).
E hoher/sehr hoher Gehalt im Boden	Für alle Kulturen reichen die Mikronährstoffgehalte im Boden für hohe Erträge aus. Düngung ist nicht erforderlich.

0 = Kultur mit niedrigem Bedarf 1 = Kultur mit mittlerem Bedarf 2 = Kultur mit hohem Bedarf

Übersicht 1: Richtwerte für Mikronährstoffgehalte von Ackerböden

Bor (mg/kg Boden, CAT-Methode)

Gehaltsklasse	S BG 1	I'S BG 2	IS BG 3	sL/uL und t'L/T BG 4 und 5
pH-Wert < 6,0 ¹⁾				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	0,10 - 0,15	0,12 - 0,18	0,15 - 0,25	0,20 - 0,35
E	> 0,15	> 0,18	> 0,25	> 0,35
pH-Wert > 6,0				
A	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,35
C	0,15 - 0,25	0,20 - 0,30	0,25 - 0,40	0,35 - 0,60
E	> 0,25	> 0,30	> 0,40	> 0,60

¹⁾ Die CAT-Methode ist für die Untersuchung von Böden mit einem pH-Wert < 5 auf den Borgehalt nicht geeignet. Es wird daher empfohlen, in diesem Fall die herkömmliche Heißwassermethode anzuwenden bzw. erst ein Jahr nach erfolgter Aufkalkung die B-Analyse nach der CAT-Methode durchzuführen.

Kupfer (Böden < 4 % Humus, mg/kg Boden, CAT-Methode)

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2 ohne pH-Begrenzung	IS BG 3	sL/uL und t'L/T BG 4 und 5 pH < 7,0	pH 7,0
A	< 1,0	< 1,2	< 2,0	< 1,2
C	1,0 - 2,0	1,2 - 2,5	2,0 - 4,0	1,2 - 2,5
E	> 2,0	> 2,5	> 4,0	> 2,5

Mangan (mg/kg Boden, CAT-Methode)

Geh.- klas- se	S und I'S BG 1 und 2			pH-Wert		IS BG 3	sL/uL und t'L/T BG 4 und 5 ohne pH-Begrenzung	
	< 5,1	5,1 - 5,5	5,6 - 6,0	> 6,0	< 5,5	5,5 - 6,4	> 6,4	
A	< 3	< 6	< 10	< 25	< 8	< 20	< 30	< 30
C	3 - 6	6 - 10	10 - 20	25 - 50	8 - 15	20 - 30	30 - 50	30 - 60
E	> 6	> 10	> 20	> 50	> 15	> 30	> 50	> 60

Zink (mg/kg Boden, CAT-Methode)

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS, sL/uL und t'L/T BG 3 bis 5
A	< 1,0	< 1,5
C	1,0 - 2,5	1,5 - 3,0
E	> 2,5	> 3,0

Gehaltsklasse	Molybdän: als Mo-Bodenzahl = pH-Wert + (10 x mg Mo/kg Boden)			
	S und I'S	IS	sL/uL und t'L/T	Mo
	BG 1 und 2	BG 3	BG 4 und 5	BG 6
A	< 6,4	< 6,8	< 7,2	< 5,0
C	6,4 - 7,0	6,8 - 7,8	7,2 - 8,2	5,0 - 6,0
E	> 7,0	> 7,8	> 8,2	> 6,0

4.2 Pflanzenanalyse zur Ernährungsdiagnose

Die Pflanzenanalyse stellt die zweite Methode zur Ermittlung des Mikro-nährstoff- düngesbedarfes der Pflanzen dar. Während die Bodenuntersuchung den potenziell verfügbaren Nährstoffvorrat beschreibt, kennzeichnet die Pflanzenanalyse den aktuellen Ernährungszustand der Pflanzen und berücksichtigt damit die Wirkung der Boden-, Witterungs- und Umweltfaktoren auf die Nährstoffaufnahme. Die Pflanzenanalyse charakterisiert deshalb den Mikronährstoffdüngesbedarf mit größerer Genauigkeit als die Bodenuntersuchung. Jedoch können nach der Probenahme durch Änderungen der Wachstumsfaktoren (z. B. Niederschläge nach anhaltender Trockenheit) Änderungen des Ernährungszustandes der Pflanzen eintreten.

Der Probenahmetermin für die Pflanzenanalyse liegt in der Zeit des intensivsten Wachstums bzw. höchsten Nährstoffbedarfs. Die Anwendung der Pflanzenanalyse erfordert in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium die Entnahme geeigneter Probenahmeorgane (Tab. 3). Für repräsentative Pflanzenproben sind die angegebenen Pflanzenteile entlang eines Zickzack- oder Diagonalweges über die gesamte Fläche von mindestens 20 Stellen zu entnehmen. Die Einzelproben werden zu einer Mischprobe von mindestens 500 g, maximal 1 000 g, vereinigt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Pflanzenteile nicht verschmutzt sind. Für das Abtrennen von Getreide- oder Futterpflanzen ca. 2 cm über der Bodenoberfläche empfiehlt sich die Verwendung eines scharfen Messers. Keinesfalls sollten Pflanzen mit der Wurzel aus dem Boden entnommen werden.

Die Bewertung der Ergebnisse der Pflanzenanalyse erfolgt durch Einstufung in drei Bereiche für den Ernährungszustand: niedrig (bis mangelhaft), ausreichend, hoch (bis Überschuss). Die Darstellung der Ergebnisse sowie des Ernährungszustandes der Pflanzen erfolgt häufig in Diagrammform (Abb. 3).

Beispiel des Ergebnisses einer Pflanzenanalyse

Schlag: 136

PN-Datum: 02.05.2016

Kultur: Wi.-Raps

Stadium: Blühbeginn (BBCH 62)

Probennehmer: Auftraggeber

Bestimmung		Gehalt	ausreichender Bereich		Vergleichsdiagramm (Gehalte)		
Element	Einheit		von	bis	niedrig	ausreichend	hoch
Gesamt-Stickstoff	% der TM	6,52	4,00	5,40	=====	=====	=====*
Phosphor (P)	% der TM	0,54	0,32	0,66	=====	=====*	
Kalium (K)	% der TM	2,64	2,40	4,90	=====	=*	
Magnesium (Mg)	% der TM	0,16	0,19	0,39	=====*		
Schwefel (S)	% der TM	0,95	0,50	0,90	=====		*
Bor (B)	mg/kg TM	16,9	19,0	60,0	=====*		
Mangan (Mn)	mg/kg TM	68,6	22,0	150	=====	=====*	
Molybdän (Mo)	mg/kg TM	1,78	0,32	0,90	=====		=====>

Abbildung 3

Tabelle 3: Kulturarten, Probenahmezeiträume und Probenahmeorgane für die Kontrolle der Nährstoffversorgung wachsender Pflanzenbestände

Kulturart	Zeitraum der Probenahme (Entwicklungsstadien mit BBCH-Code)	Probenahmeorgan
Wi.- u. Sommerweizen Wi.- u. Sommergerste Winterroggen Wintertriticale Hafer	Ende Bestockung bis Ende Schossen (BBCH 28/29 bis 45) vorzugsweise BBCH 31...37	gesamte oberirdische Pflanze
Mais	40 - 60 cm Bestandeshöhe (BBCH 33...36) Rispschieben (BBCH 51...59) Blüte (BBCH 61...69)	mittlere Blätter mittlere Blätter Kolbenblätter
Erbse	30 - 40 cm Bestandeshöhe (BBCH 35...39) Blühbeginn (BBCH 61...62)	gesamte oberirdische Pflanze
Ackerbohne	Blühbeginn (BBCH 61...62)	gerade vollentwickelte Blätter
Winterraps	Knospenstadium (BBCH 53) bis Blüte	gerade vollentwickelte Blätter
Lein	Knospenbildung bis Blühbeginn	oberes Sprossdrittel
Sonnenblume	Blühbeginn (BBCH 61...62)	obere vollentwickelte Blätter
Kartoffel	Knospenstadium bis Knollenbildung	gerade vollentwickelte Blätter
Zucker- und Futter- rübe	Ende Juni bis Ende August	Spreiten von gerade vollent- wickelten Blättern
Luzerne	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanze
Rotklee	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanze
Wiesen- und Weide- gräser	Blühbeginn 1. Aufwuchs	gesamte oberirdische Pflanze



Die Richtwerte für die Bewertung des Ernährungszustandes der Pflanzen wurden aus den Ergebnissen zahlreicher Feldversuche abgeleitet und berücksichtigen den Zusammenhang zwischen dem Nährstoffgehalt ausgewählter Pflanzenteile in relevanten Entwicklungsstadien und dem späteren Ertrag.

Nährstoffgehalte unterhalb oder oberhalb des ausreichenden Bereiches kennzeichnen nicht optimale Zustände der Nährstoffversorgung. Bei unzureichendem Ernährungszustand wird in der Regel eine Blattdüngung des betreffenden Nährstoffs empfohlen, wobei die Ausbringung an den optimalen Applikationstermin auszurichten ist. Hohe Nährstoffgehalte weisen in der Regel auf ein sehr hohes Nährstoffangebot aus Boden bzw. Düngung hin oder sind eine Folge einer Wachstumshemmung. Übersicht 2 gibt einen Überblick über die Richtwerte für ausreichende Mikronährstoffgehalte wichtiger Ackerkulturen mit hohem und mittlerem Bedarf. Zurzeit wird unter dem Eindruck zunehmender Trockenheit die Notwendigkeit einer Bordüngung insbesondere zu Winterweizen (niedriger Borbedarf!) diskutiert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann zum Erkennen eines B-Düngebedarfes jedoch noch kein allgemein gültiger Richtwert für ausreichende Borgehalte in den Pflanzen angegeben werden.

Aktuelle Feldversuche zeigen, dass eine Borblattdüngung zu keiner Ertragssteigerung führte, wenn der Winterweizen Mitte bis Ende des Schossens B-Gehalte von mindestens 2,0 mg/kg TM aufwies. Wenn die genannten vorläufigen Richtwerte nicht unterschritten werden, ist keine B-Düngung erforderlich.

Übersicht 2: Mikronährstoffgehalte ausgewählter Ackerkulturen

Winterweizen (gesamte oberirdische Pflanze)

Entwicklungs- stadium (BBCH)	Cu	Mn mg/kg TM	Zn	Cu/N-Quotient ^{*)}
24 - 28	4,9 - 11,3	33 - 116	23 - 34	≥ 1,1
29 - 30	4,4 - 11,2	31 - 100	21 - 34	≥ 1,2
31	4,0 - 10,9	29 - 88	19 - 34	≥ 1,2
32 - 36	3,6 - 10,6	28 - 77	18 - 33	≥ 1,3
37 - 38	3,5 - 10,1	28 - 70	17 - 31	≥ 1,3
39 - 41	3,4 - 9,5	28 - 65	17 - 28	≥ 1,4
42 - 45	3,5 - 8,8	30 - 63	17 - 24	≥ 1,4

^{*)} Bei Vorliegen des Cu/N-Quotienten [(mg Cu/kg)/ % N] wird dieser zur Bewertung des Cu-Ernährungszustandes verwendet.



Winterraps (gerade vollentwickelte Blätter)

Entwicklungs- stadium (BBCH)	B	Mn mg/kg TM	Mo
Knospe klein (53)	15-50	30-150	0,38-1,00
Knospe mittel (55)	16-60	28-150	0,36-1,00
Knospe groß (57)	18-60	25-150	0,34-1,00
Blühbeginn (62)	19-60	22-150	0,32-0,90
Blüte (64)	20-50	20-150	0,30-0,90

Sommergerste (gesamte oberirdische Pflanze)

Entwicklungs- stadium (BBCH)	Cu	Mn mg/kg TM	Zn
28	5,0-16,5	28-150	25-75
29	4,7-16,0	27-145	22-75
31	4,5-15,5	26-140	19-65
32-36	4,3-15,0	25-140	17-65
37-38	4,0-14,5	24-135	16-60
39-41	3,7-14,0	23-130	15-60
42-45	3,7-13,0	22-130	14-60

Silomais (bis zum Fahnenschieben: mittlere Blätter; zur Blüte: Kolbenblätter)

Entwicklungs- stadium (BBCH)	B	Cu mg/kg TM	Mn	Zn
40 - 60 cm	7 - 30	6,0 - 17,0	40 - 160	22 - 70
Rispenschieben	7 - 20	7,0 - 16,5	35 - 150	22 - 70
Blüte	8 - 20	8,0 - 16,0	20 - 150	22 - 60

5 Mikronährstoffdüngung

Wirtschaftsdünger verfügen über nicht zu vernachlässigende Gehalte an Mikronährstoffen (Tab. 4). Die aufgeführten Mikronährstoffe sind im Anwendungsjahr nicht voll pflanzenverfügbar. Sie tragen jedoch mittel- bis langfristig zur Mikronährstoffernährung der Kulturen bei. Standorte mit regelmäßiger organischer Düngung erfordern daher selten eine gezielte Mikronährstoffdüngung.

Tabelle 4: Mittlere Mikronährstoffgehalte organischer Düngestoffe

Element	Rindergülle 4 - 8 % TS ²⁾	Schweinegülle 4 - 8 % TS ²⁾	Hühnergülle 8 - 12 % TS ²⁾	Stallung FM ³⁾
		g/m ³		g/t
B	1 - 3	2 - 4	2 - 4	3 - 6
Cu	2 - 6	4 - 20	2 - 5	2 - 5
Mn	8 - 25	10 - 30	30 - 50	30 - 60
Mo ¹⁾	50 - 120	130 - 200	60 - 150	400
Zn	10 - 20	15 - 70	15 - 50	50 - 300

¹⁾ Angaben in mg/m³ bzw. mg/t

²⁾ Trockensubstanz

³⁾ Frischmasse

Weitere Quellen für die Mikronährstoffzufuhr zum Boden sind Klärschlamm, Kompost und andere organische bzw. organische Dünger. Deren Gehalt an Cu und Zn ist in der düngemittelrechtlichen Deklaration ersichtlich.

Die erforderliche Mikronährstoffzufuhr kann als Boden- oder als Blattdüngung erfolgen. Die Bodendüngung sollte in der Regel vor der Saat geschehen, wobei die in Tabelle 5 angegebene Wirkungsdauer der Düngung zu erwarten ist. Die Mikronährstoffbodendüngung hat insbesondere dann Vorteile, wenn im Rahmen der Fruchtfolge mehrere Kulturen mit hohem Anspruch an dem im Mangel befindlichen Nährelement angebaut werden und damit eine einmalige Düngerapplikation erfolgen kann. Eine Manganbodendüngung wird aufgrund der geringen Wirksamkeit infolge Festlegung im Boden nicht empfohlen.

Im Vergleich zu Bodendüngung werden für die Blattdüngung deutlich niedrigere Mikronährstoffmengen benötigt, jedoch ist bei einmaliger Anwendung in der Regel keine Nachwirkung im Folgejahr zu erwarten. Die Blattapplikation von Mikronährstoffdüngern sollte bei nachgewiesenem Düngebedarf bzw. beim Auftreten sichtbarer Mangelsymptome erfolgen. Die Angaben zur Höhe der Blattdüngung beziehen sich auf den Einsatz von Salzen. Bei Anwendung formulierter Produkte oder Chelaten sind die Hinweise der Hersteller, auch hinsichtlich der Mischbarkeit mit anderen

Mitteln zu beachten. Einen Überblick über die Empfehlungen zur Boden- oder Blattdüngung bei Vorliegen eines Mikronährstoffdüngedarfes gibt Tabelle 5.

Tabelle 5: Empfehlungen zur Blatt- und Bodendüngung mit Mikronährstoffen

Mikro-nährstoff	Bodenarten-gruppe	Bodenart	Blattdüngung	Bodendüngung
Bor	1	Sand	0,4 kg B/ha	1,5 kg B/ha (Wirkung für 3 Jahre)
	2 - 5	schwach lehmiger Sand bis Ton		2,3 kg B/ha (Wirkung für 3 Jahre)
Kupfer	1 - 6	Sand, Lehm, Ton, Moor	1,0 kg Cu/ha	5,0 kg Cu/ha (Wirkung für 4 Jahre)
Mangan		Sand, Lehm, Ton, Moor	ein- bis dreimal 1,0 kg Mn/ha	keine Bodendüngung
Molybdän	1 - 5	Sand, Lehm, Ton	0,3 kg Mo/ha	1,0 kg Mo/ha (Wirkung für 3 Jahre)
Zink	1 - 2	Sand, schwach lehmiger Sand	0,3 kg Zn/ha	6 kg Zn/ha (Wirkung für 3 Jahre)
	3 - 5	stark lehmiger Sand bis Ton		10 kg Zn/ha (Wirkung für 3 Jahre)

Entscheidend für die Ertragswirksamkeit der Mikronährstoffblattapplikation ist deren Durchführung im element- und pflanzenartspezifischen optimalen Zeitpunkt (Tab. 6).

Tabelle 6: Optimaler Zeitpunkt für die Blattapplikation von Mikronährstoffen

Getreide	Schossenstadium, 10 bis 25 cm Wuchshöhe (vorzugsweise BBCH 31... 37)
Mais	nach 4. Blatt, 30 bis 40 cm Wuchshöhe
Rübe	Schließen der Reihen (Juni/Juli)
Kartoffel	Schließen der Reihen (Juni/Juli)
Luzerne, Rotklee	kurz vor der Blüte
Grünland	10 bis 15 cm Wuchshöhe
Raps, Rübsen	Knospenstadium
Ackerbohne, Erbse	6- bis 8-Blattstadium
Sonnenblume	Ausbildung 6. bis 8. Blatt
Lein	ca. 20 cm Wuchshöhe
Gräser	10 bis 15 cm Wuchshöhe

6 Mikronährstoffversorgungszustand Thüringer Ackerböden

Die Bodenuntersuchung auf den Mikronährstoffgehalt ermöglicht die Bewertung des potenziellen Versorgungszustandes der Böden und ermöglicht unter Berücksichtigung weiterer im Kapitel 4 dargestellten Faktoren eine Prognose des Düngedarfs. Im Rahmen verschiedener Monitoringprogramme wurden in den Jahren 2009 bis 2015 insgesamt 1 429 repräsentative Ackerstandorte auf den B-, Cu-, Mn- und Zn-Gehalt nach der CAT-Methode untersucht. Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 7 und 8.

Die Thüringer Ackerböden sind überwiegend hoch (Gehaltsklasse E) und mittel (Gehaltsklasse C) mit Mikronährstoffen versorgt. Jedoch liegen auf verschiedenen Standorten niedrige Gehalte (Gehaltsklasse A) vor. Das betrifft hinsichtlich der Borversorgung diluviale Böden, Buntsandstein-, Muschelkalk- und Zechsteinverwitterungsstandorte. Der Anteil unterversorgter Flächen beträgt zwischen 10 und 31 %. Dagegen liegt nur in sehr wenigen Fällen eine niedrige Cu-Versorgung vor.

Die Manganversorgung der Ackerböden wird als überwiegend hoch bis mittel beurteilt. Niedrige Mn-Gehalte liegen in einem Umfang von 8 bis 12 % auf Löss, mittleren und unteren Buntsandstein- sowie Muschelkalkböden vor.

Tabelle 7: Bor- und Kupferversorgung Thüringer Ackerböden (1 429 repräsentative Standorte, Untersuchung 2009 – 2015, Anteil in Gehaltsklassen in %)

Geologische Herkunft	n	Bor			Kupfer		
		Gehaltsklasse			Gehaltsklasse		
		E	C	A	E	C	A
AL	123	82	9	9	90	10	0
D	40	62	25	13	82	18	0
Löss 1/2	171	81	12	8	60	38	2
Löss 3/4	119	80	18	2	70	29	1
Löss 5/6	143	73	24	2	67	31	2
m. u. Buntsandstein	25	36	40	24	68	28	4
oberer Buntsandstein	249	63	27	10	74	26	0
Muschelkalk	269	38	31	31	55	45	0
Keuper	121	78	16	7	82	17	1
Schiefer	137	45	41	14	73	27	0
Zechstein	32	69	31	0	100	0	0

Auf mittleren und unteren Bundsandsteinstandorten beträgt der Flächenanteil mit niedriger Zn-Versorgung 12 %, auf allen anderen Standorten unter 5 %.

Tabelle 8: Mangan- und Zinkversorgung Thüringer Ackerböden (1429 repräsentative Standorte, Untersuchung 2009 – 2015, Anteil in Gehaltsklassen in %)

Geologische Herkunft	n	Mangan Gehaltsklasse			Zink Gehaltsklasse		
		E	C	A	E	C	A
AL	123	83	10	7	87	12	1
D	40	85	15	0	82	18	0
Lö 1/2	171	83	9	8	63	35	2
Lö 3/4	119	88	6	6	77	21	2
Lö 5/6	143	94	3	3	80	17	3
m. u. Buntsandstein	25	68	20	12	48	40	12
oberer Buntsandstein	249	96	2	2	85	15	0
Muschelkalk	269	65	25	10	52	43	5
Keuper	121	85	13	2	56	41	3
Schiefer	137	94	6	0	77	22	1
Zechstein	32	91	6	3	94	6	0

Wirkung des Boden-pH-Wertes auf die
Mikronährstoffverfügbarkeit

Nährstoff	pH-Wert	
	niedrig	hoch
B		
Cu		
Mn		
Mo		
Zn		

Abbildung 4

7 Mikronährstoffernährungszustand ausgewählter Ackerkulturen in Thüringen

Im Rahmen eines Monitorings zum Ernährungszustand ausgewählter Ackerkulturen in den Jahren 2009 bis 2015 wurde auch der Mikronährstoffversorgungszustand ermittelt. Die Getreidearten weisen im Gegensatz zu früheren Untersuchungen im erhöhten Umfang eine niedrige bis mangelhafte Zn-Ernährung auf. Davon waren 28 % der Winterweizen- und 20 % der Wintergerstebestände betroffen. Mn-Unterversorgung betraf 10 % der Winterweizen-, 1 % der Wintergerste- sowie 32 % der Sommergersteflächen. Eine niedrige bis mangelhafte Cu-Ernährung lag nur in wenigen Fällen vor (Tab. 9).

Tabelle 9: Mikronährstoffernährungszustand von Getreide zu Schossbeginn (Untersuchung 2009 – 2015, Anteil in Ernährungsklassen in %)

Kultur	Ernährungszustand	Cu	Mn	Zn
Winterweizen n = 744	hoch	1	4	4
	ausreichend	98	86	68
	niedrig/mangelhaft	1	10	28
Wintergerste n = 162	hoch	1	0	5
	ausreichend	98	99	75
	niedrig/mangelhaft	1	1	20
Sommergerste n = 146	hoch	1	0	5
	ausreichend	96	68	91
	niedrig/mangelhaft	3	32	4

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Mikronährstoffversorgung von Winterraps, Zuckerrübe und Silomais. 22 % der Winterrapsflächen sowie 48 % der Silomaissschläge waren von einer B-Unterversorgung betroffen. Dagegen fielen alle untersuchten Zuckerrübenbestände als ausreichend mit B versorgt aus. Eine Cu-Unterversorgung lag nur auf 7 bzw. 6 % der Zuckerrüben- und Silomaisflächen vor. Eine niedrige Mn-Ernährung betrafen 7 % der Zuckerrüben- und 14 % der Silomaisbestände. 16 % der Silomaisflächen wiesen eine Zn-Unterversorgung auf. In dem genannten Umfang lag ein akuter Düngebedarf vor, der eine Blattdüngung erforderlich machte.

Tabelle 10: Mikronährstoffernährungszustand von Winterraps, Zuckerrübe und Silomais (Untersuchung 2009 – 2015, Anteil in Ernährungsklassen in %)

Kultur	Ernährungszustand	B	Cu	Mn	Zn
Winterraps n = 233	hoch	2		2	
	ausreichend	76	n. b.	98	n. b.
	niedrig/mangelhaft	22		2	
Zuckerrübe n = 41	hoch	0	5	0	7
	ausreichend	100	88	93	88
	niedrig/mangelhaft	0	7	7	5
Silomais n = 128	hoch	2	4	0	1
	ausreichend	50	90	86	83
	niedrig/mangelhaft	48	6	14	16

Aufnahme von Mikronährstoffen aus dem Boden und Verlagerung in der Pflanze

Nährstoff	Aufnahme	Transport in der Pflanze	Verlagerbarkeit in der Pflanze
B	Bodenlösung	Xylem (Wasserstrom)	sehr gering
Cu	Bodenlösung/Wurzel-ausscheidungen	Phloem (aktiv)	gering
Mn			mittel
Mo	Bodenlösung (Wurzelausscheidungen)		gering
Zn	Bodenlösung/Wurzel-ausscheidungen		mittel

Abbildung 5

8 Weiterführende Informationen

Richtwerte zur Mikronährstoffdüngung:

W. Zorn, H. Heß, E. Albert, H. Kolbe, M. Kerschberger, G. Franke (2007):
Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. In: Schriften-
reihe der TLL, Heft 7

Diagnose von Ernährungsstörungen

(auch Mikronährstoffmangel und -überschuss):

Diagnosesystem VISUPLANT® www.tll.de/visuplant

W. Bergmann (1993):

Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Auflage, Gustav-Fischer-
Verlag Jena-Stuttgart

W. Zorn, G. Marks, H. Heß, W. Bergmann (2016):

Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen. 3. Auflage
2016. Springer Spektrum Heidelberg